

# 地表覆盖及生理生态因子对苹果树光合特性的影响

张义, 谢永生, 郝明德, 李晓

(西北农林科技大学 资源环境学院, 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**以9年生枝富士苹果树为研究对象,利用LI-6400便携式光合测定系统监测不同地表覆盖模式下盛果期苹果树净光合速率、蒸腾速率日变化,并对与净光合速率和蒸腾速率相关的环境因子及生理因子的相互关系进行分析。结果表明,清耕和生草处理的净光合速率( $P_n$ )日变化为双峰型,地膜覆盖、秸秆覆盖和砂石覆盖的净光合速率( $P_n$ )日变化进程为单峰型;蒸腾速率( $T_r$ )日变化均为单峰型。净光合速率( $P_n$ )与光合有效辐射(PAR)、气温( $T_a$ )、叶温( $T_l$ )均呈二次曲线关系;与大气相对湿度(RH)、气孔导度( $G_s$ )呈显著正相关;与胞间 $CO_2$ 浓度( $C_i$ )呈显著负相关。蒸腾速率( $T_r$ )与光合有效辐射(PAR)为幂指数关系;与大气相对湿度(RH)呈二次曲线关系;与气温( $T_a$ )、叶温( $T_l$ )、气孔导度( $G_s$ )呈显著正相关;与胞间 $CO_2$ 浓度( $C_i$ )显著负相关。砂石覆盖和秸秆覆盖的净光合速率最大,不同覆盖模式下蒸腾速率日均值差异不显著,不同覆盖模式下苹果树的光合特性与各项环境因子和生理因子密切相关。

**关键词:**果树;地表覆盖;净光合速率;蒸腾速率;生理生态

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)01-0125-06

中图分类号: S311, S314

## Effects of Different Surface Mulch Models and Physiological Ecology Factors on Apple Photosynthesis

ZHANG Yi, XIE Yong-sheng, HAO Ming-de, LI Xiao

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, and

Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Diurnal changes of photosynthetic rate ( $P_n$ ) and transpiration rate ( $T_r$ ) were measured using Li-6400 portable photosynthesis system to study the characteristics of physiological ecology of the apple trees in full fruit period under different soil management models. The relationships of photosynthetic rate ( $P_n$ ) and transpiration rate ( $T_r$ ) with environmental factors and physiological factors were analyzed by correlation analysis. Results showed that the diurnal changes of photosynthetic rate ( $P_n$ ) presented the double-peak curve for clean tillage treatment and growing grass treatment. The diurnal changes of photosynthetic rate ( $P_n$ ) in film mulching, straw mulching, and gravel mulching presented the one-peak curve. The diurnal changes of the transpiration rate ( $T_r$ ) presented the one-peak curve. The relationships of photosynthetic rate ( $P_n$ ) with photosynthetically active radiation (PAR), air temperature ( $T_a$ ), and leaf temperature ( $T_l$ ) were the quadratic curve. Photosynthetic rate ( $P_n$ ) was significantly positively correlated with atmospheric relative humidity (RH) and stomatal conductance ( $G_s$ ), respectively, and was significantly negatively correlated with intercellular  $CO_2$  concentration ( $C_i$ ). The relationship of transpiration rate ( $T_r$ ) with photosynthetically active radiation (PAR) was power exponent and with atmospheric relative humidity (RH), was the quadratic curve. transpiration rate ( $T_r$ ) was significantly positively correlated with air temperature ( $T_a$ ), leaf temperature ( $T_l$ ), and stomatal conductance ( $G_s$ ), respectively, and was significantly negatively correlated with intercellular  $CO_2$  concentration ( $C_i$ ). Photosynthetic rates ( $P_n$ ) for gravel mulching and straw mulching were the highest and there were little difference in the average diurnal change of transpiration rate ( $T_r$ ) under different

收稿日期: 2009-06-23

修回日期: 2009-08-05

资助项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX-YW-09-07); 国家科技支撑计划项目(2006BAD09B10); 中国科学院农业项目(kscx2-yw-N-46-04); 国家科技支撑计划项目(2006BAD15B01-03); 国家科技支撑计划项目(2006BAD05B10)

作者简介: 张义(1984—),男(汉族),河南省郑州市人,硕士研究生,从事土壤环境与果园生态系统调控等方面研究。E-mail: zhangyi.zy@msn.com。

通信作者: 谢永生(1960—),男(回族),河南省开封市人,博士,研究员,从事土地资源及环境评价等方面研究。E-mail: ysxie@ms.iswc.ac.cn。

soil management models. The photosynthetic characteristics showed a significant correlation with environmental factors and physiological factors, respectively.

**Keywords:** apple tree; soil surface mulch; photosynthetic rate; transpiration rate; physiological ecology

黄土高原沟壑区是世界著名的苹果优生区,也是我国唯一符合优质苹果(*Malus pumila*)生长 7 项气候指标要求的区域<sup>[1-4]</sup>。以黄土沟壑区为代表的黄土高原苹果产业已成为促进该区域经济发展,改善生态环境的支柱产业<sup>[5-6]</sup>。地表覆盖技术具有蓄水保墒,培肥地力,减少水土流失,调节微域生态系统环境等生态学功能<sup>[7-9]</sup>,已成为黄土沟壑区广泛采用的土壤管理调控技术之一<sup>[10]</sup>。当前国内外有关果园地表覆盖技术的研究多是针对不同覆盖方式的环境效应分析<sup>[4,7-8,11]</sup>,而对果树生理特性所受到的影响研究较少。而果树的光合作用与其生存环境密切相关,研究植物光合生理特性是揭示果树对生存环境适应性机制的有效途径<sup>[12]</sup>。本试验对不同地表覆盖条件下果树开花展叶期叶片的净光合速率和蒸腾速率进行日变化监测,并对与净光合速率和蒸腾速率相关的环境因子及生理因子的相互关系进行了分析,以便从植物生理角度为该区域选择适宜的地表覆盖模式提供参考,并为进一步通过环境调控创造适宜的植物生理环境条件提供指导依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区自然概况

试验在位于陕西省长武县的中国科学院长武生态农业国家试验站进行。该站海拔 1 200 m,地貌类型为黄土高原南部高塬沟壑地貌,属暖温带半湿润大陆性季风气候,年均气温 9.1 ℃,无霜期 171 d,年平均降雨量 578.5 mm, 10 ℃ 活动积温 3 029 ℃,极端最高气温 32.4 ℃,极端最低气温 - 19.6 ℃,年日照时数为 2 230 h,日照率 51%,年辐射总量为 4 837 kJ/cm<sup>2</sup>。土壤为中壤质黑垆土,土壤有机质含量 10.5 g/kg,全氮 0.57 g/kg,全磷 0.66 g/kg,速效氮 37.0 mg/kg,速效磷 3 mg/kg,速效钾 129 mg/kg, pH = 8.3,田间持水量( )为 30%。

### 1.2 试验材料

试验果园面积约 930 m<sup>2</sup>,建园时间为 2000 年,主栽品种为长枝红富士,株行距 3.5 m × 4 m,无灌溉条件,主要依靠天然降水补充水分。园区果树生长健壮,无病虫害,果树生长管理状况在该区域具有代表性。

### 1.3 试验设计及方法

本试验于 2006 年 4 月布设,共设计 5 种不同的地表覆盖模式,分别为( )清耕处理、( )生草处理、

( )地膜覆盖、( )秸秆覆盖、( )砂石覆盖。完全随机排列,各试验小区施肥量一致,树体管理统一按常规方法进行,全部进行套袋生产。

生草处理采用草种为白三叶草,撒播草籽量为 30 kg/hm<sup>2</sup>,全园生草,根据三叶草生长状况于每年 3 月适当补栽;地膜选用厚度为 0.015 mm 的无色透明聚乙烯塑料膜,于每年 11 月重新铺设;秸秆覆盖材料为小麦秸秆,覆盖厚度为 15 cm,于每年 11 月适量增加;砂石直径为 2~5 cm,覆盖厚度为 4 cm 左右。

试验于果树开花展叶期每日 8:00—18:00 时进行,每 2 h 测定一次。测定时天气晴朗无云。测定使用 LI6400 (LI-COR, Lincoln, NE, USA) 便携式光合测定系统同步监测果叶的净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )以及光合有效辐射(PAR)、气温( $T_a$ )、叶片温度( $T_l$ )、空气湿度(RH)等相关环境因子。每一处理选择 3 株样树,每株样树选 3 个叶片,叶片取自树冠南向中部,每个叶片每次连续采取 3 个稳定的数据,取平均值。

### 1.4 数据处理与分析

使用 Microsoft Office Excel 2007 软件进行数据处理及做图;使用 SPSS 16.0 软件进行相关分析及回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 地表覆盖下苹果树的生理特性

2.1.1 净光合速率( $P_n$ )的日变化特性 植物净光合速率( $P_n$ )的日变化进程主要可以划分为单峰型、双峰型、多峰型(波动型)和平坦型等。多数研究结果表明,自然条件下苹果净光合速率的日变化为双峰型<sup>[13]</sup>。但在不同地表覆盖模式下,苹果叶净光合速率的日变化特点存在差异(图 1)。清耕和生草处理模式下,呈现双峰型,双峰值均出现在 10:00 时和 14:00 时前后,其中第一个峰值大于第二个峰值,在 12:00 时前后达最低值,并且出现明显的“午休”现象,此时苹果叶呼吸作用相对加强。研究表明,光合作用出现“午休”现象的原因之一是大气湿度变低<sup>[14]</sup>。在地膜覆盖、秸秆覆盖和砂石覆盖 3 种土壤管理模式下,净光合速率的日变化为单峰型,10:00 时最大,随后逐渐降低,14:00 时较 10:00 时分别降低了 28.74%,37.56%和 21.63%。不同土壤管理模式净光合速率日均值,砂石覆盖 6.46  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

> 秸秆覆盖  $6.42 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  > 清耕处理  $6.23 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  > 生草处理  $6.18 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  > 地膜覆盖  $5.99 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

砂石覆盖、秸秆覆盖与清耕、生草和地膜覆盖相比,差异达到显著水平。说明砂石覆盖和秸秆覆盖能够改善土壤水分状况及冠层大气的温湿度,从而使果树叶片的  $\text{CO}_2$  日同化量增多,提高了果树对光能的利用率。

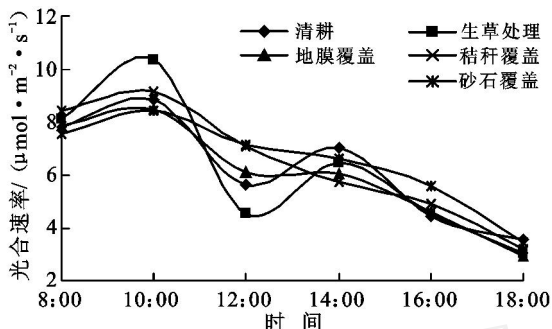


图 1 苹果净光合速率( $P_n$ )日变化

2.1.1.2 蒸腾速率( $T_r$ )的日变化特性 蒸腾速率( $T_r$ )既受外界因子的影响,也受植物体内部结构和生理状况的调节。光照和土壤水分是影响植物蒸腾速率的主要外界条件,光照对蒸腾速率的影响首先是引起气孔开放,其次是提高大气和植物体的温度,增加叶内外蒸汽压差而加速蒸腾。叶片气孔导度对土壤水分的变化非常敏感,气孔导度的变化进而影响蒸腾速率<sup>[14]</sup>。不同地表覆盖模式下,果树的蒸腾速率( $T_r$ )的日变化进程总体上都呈现单峰型变化,但峰值大小及出现早晚有差异(图 2)。除生草处理外,其余地表覆盖模式苹果蒸腾速率日变化峰值出现的时间均较光合峰值滞后。但各地表覆盖模式下,果树蒸腾速率均没有出现明显的“午休”现象。不同地表覆盖模式蒸腾速率日均值为:清耕处理  $2.69 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,生草处理  $2.75 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,地膜覆盖

$2.76 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,秸秆覆盖  $2.79 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,砂石覆盖  $2.80 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 差异不显著。

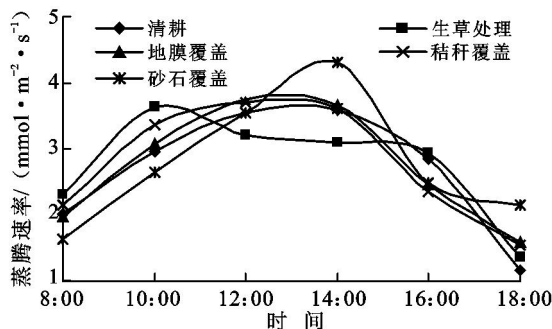


图 2 苹果蒸腾速率( $T_r$ )日变化

2.2 净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )与环境因子的关系

2.2.1 净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )与光合有效辐射(PAR)的关系 光合有效辐射(PAR)是植物进行光合作用的主要能量来源,它直接影响叶片的净光合速率(相关系数  $r=0.690^{**}$ )。由苹果净光合速率与光合有效辐射的关系可以看出(图 3a<sub>1</sub>),随着光合有效辐射(PAR)的增强,苹果树叶片的净光合速率( $P_n$ )得到提高,当光合有效辐射(PAR)达到  $800 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,净光合速率( $P_n$ )最大,既为光饱和点,若光合有效辐射(PAR)继续增加,净光合速率( $P_n$ )即开始下降。光合有效辐射(PAR)不仅影响植物叶片的净光合速率,还能够通过调节与光合作用相关的生理过程影响植物的蒸腾特性,并且光合有效辐射(PAR)是植物进行蒸腾作用的主要驱动力之一,相关分析结果显示,两者之间呈极显著的相关关系( $r=0.654^{**}$ )(表 1)。当光合有效辐射(PAR)增强时,大气温度( $T_a$ )和叶片温度( $T_l$ )也随着升高,导致叶肉细胞间隙的水汽压与叶表面大气压差增大,蒸腾速率( $T_r$ )也随之提高。蒸腾速率( $T_r$ )随光合有效辐射(PAR)的增强呈幂函数曲线上升(图 3a<sub>2</sub>)。

表 1 苹果叶片净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )与各环境因子的相关分析

指标	$P_n$	$T_r$	PAR	$T_a$	$T_l$	RH
$P_n$	1.000					
$T_r$	0.398 <sup>*</sup>	1.000				
PAR	0.690 <sup>**</sup>	0.654 <sup>**</sup>	1.000			
$T_a$	-0.451 <sup>*</sup>	0.476 <sup>**</sup>	-0.047	1.000		
$T_l$	-0.497 <sup>**</sup>	0.439 <sup>*</sup>	-0.089	0.997 <sup>**</sup>	1.000	
RH	0.687 <sup>**</sup>	-0.160 <sup>*</sup>	0.330	-0.930 <sup>**</sup>	-0.949 <sup>**</sup>	1.000

2.2.2 净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )与气温( $T_a$ )的关系 光合作用是由酶系统参与的生物化学过程,而酶的活性直接受温度影响,所以温度是影响植物光

合生产力的一个主要生态因子<sup>[15]</sup>。净光合速率( $P_n$ )与气温( $T_a$ )的关系和与光合有效辐射(PAR)的关系趋势相似(图 3b<sub>1</sub>)。通过拟合的回归模型得出,净光

合速率 ( $P_n$ ) 与气温 ( $T_a$ ) 二者呈二次曲线关系。当气温 ( $T_a$ ) 低于 18 时, 净光合速率 ( $P_n$ ) 随气温 ( $T_a$ ) 的上升迅速上升, 而后随着气温 ( $T_a$ ) 的上升, 净光合速率 ( $P_n$ ) 缓慢上升, 当气温 ( $T_a$ ) 达到 22 左右时, 净光合速率 ( $P_n$ ) 达最大, 之后, 随着气温 ( $T_a$ ) 的继续增加, 净光合速率 ( $P_n$ ) 开始下降。

从以上分析可知, 黄土沟壑区苹果光合作用的最适气温是 18 ~ 22。相关分析表明, 蒸腾速率 ( $T_r$ ) 与气温 ( $T_a$ ) 之间有极显著的正相关关系 ( $r = 0.476^{**}$ , 表 1)。通过回归拟合可知, 蒸腾速率 ( $T_r$ ) 与气温 ( $T_a$ ) 两者之间符合  $y = ax + b$  型的线性关系 (图 3b<sub>2</sub>)。

**2.2.3 净光合速率 ( $P_n$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ ) 与叶温 ( $T_l$ ) 的关系** 根据净光合速率 ( $P_n$ ) 与叶温 ( $T_l$ ) 的关系 (图 3c<sub>1</sub>) 发现, 净光合速率 ( $P_n$ ) 对叶温 ( $T_l$ ) 的响应与对气温 ( $T_a$ ) 的响应方式相似, 都呈二次曲线分布。这是因为叶温 ( $T_l$ ) 和气温 ( $T_a$ ) 具有极显著的相关性 ( $r = 0.997^{**}$ , 表 1)。净光合速率 ( $P_n$ ) 随叶温 ( $T_l$ ) 的升高而增加, 当叶温 ( $T_l$ ) 达到 21 左右时, 净光合速率 ( $P_n$ ) 达到最高, 随后净光合速率 ( $P_n$ ) 下降。其原因可能是随着叶温 ( $T_l$ ) 的升高, 导致 PS 的活性降低, 一旦由温度诱导的 PS 放氧复合体活性下降,

光合电子传递势必会受到抑制, 导致净光合速率 ( $P_n$ ) 下降<sup>[16]</sup>。蒸腾速率 ( $T_r$ ) 对叶温 ( $T_l$ ) 的响应趋势也和对气温 ( $T_a$ ) 的响应相似 (图 3c<sub>2</sub>), 都是呈上升型的线性趋势, 可能是叶温 ( $T_l$ ) 的变化受气温 ( $T_a$ ) 的直接影响 ( $r = 0.997^{**}$ , 表 1)。

**2.2.4 净光合速率 ( $P_n$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ ) 与大气相对湿度 (RH) 的关系** 净光合速率 ( $P_n$ ) 与大气相对湿度 (RH) 之间呈正相关的关系 ( $r = 0.687^{**}$ , 表 1), 苹果的净光合速率 ( $P_n$ ) 随大气相对湿度 (RH) 的增大而提高 (图 3d<sub>1</sub>)。这与 Slavik (2000) 等的研究结果一致, 其原因可能是随着大气相对湿度 (RH) 的增加植物叶片气孔导电性增加, 并可能引起 CO<sub>2</sub> 吸收增加, 最终光合作用增强。由回归模型可知, 蒸腾速率 ( $T_r$ ) 与大气相对湿度 (RH) 之间呈二次曲线的变化关系 (图 3d<sub>2</sub>)。蒸腾速率 ( $T_r$ ) 随着大气相对湿度 (RH) 的增大而提高, 当大气相对湿度 (RH) 达到 65% 左右时, 蒸腾速率 ( $T_r$ ) 达到最大, 之后, 随着大气相对湿度 (RH) 的继续增加, 蒸腾速率 ( $T_r$ ) 开始降低, 这可能是由于温度因子 ( $T_a$ ,  $T_l$ ) 与大气相对湿度 (RH) 具有极显著的负相关性 ( $r = -0.930^{**}$ ,  $r = -0.949^{**}$ ), 过高的大气相对湿度 (RH) 导致温度因子 ( $T_a$ ,  $T_l$ ) 的降低, 进而降低了蒸腾速率 ( $T_r$ )。

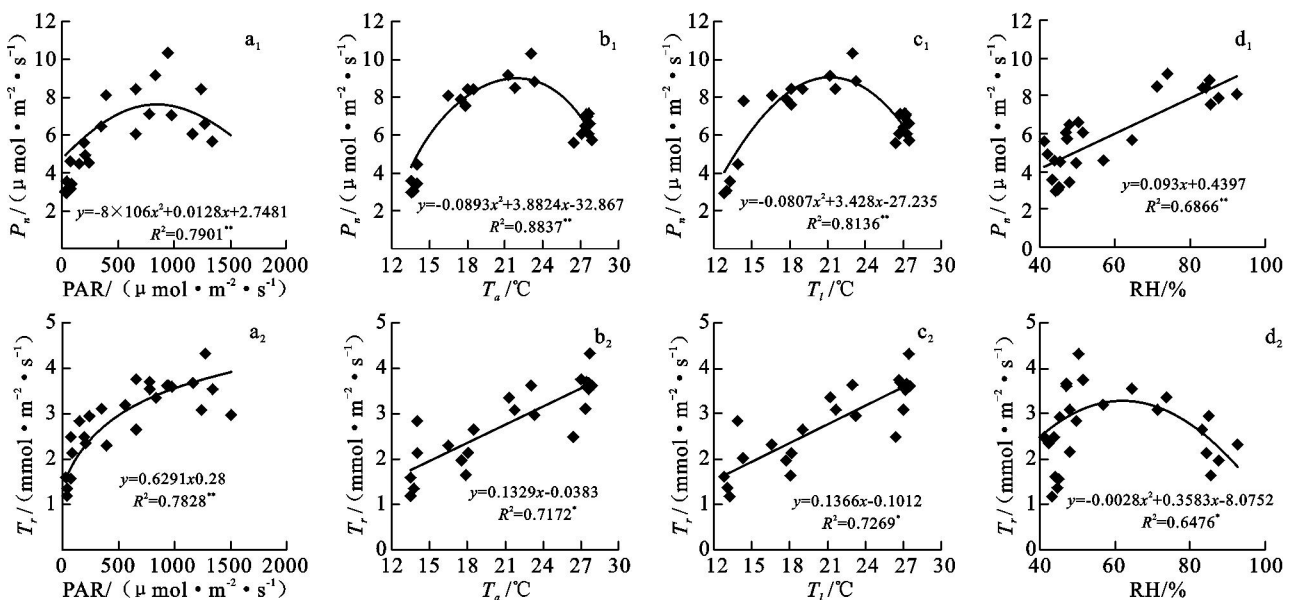


图 3 苹果叶片净光合速率  $P_n$  和蒸腾速率  $T_r$  与环境因子的关系

## 2.3 净光合速率 ( $P_n$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ ) 与生理因子的关系

**2.3.1 净光合速率 ( $P_n$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ ) 与气孔导度 ( $G_s$ ) 的关系** 气孔是植物叶片与外界气体交换的门户, 是水分散失和 CO<sub>2</sub> 交换的重要通道。气孔导度 ( $G_s$ ) 是衡量气体通过气孔的难易程度, 气孔导度 ( $G_s$ )

越大气孔阻力越小, 水汽、CO<sub>2</sub> 等可顺利通过气孔进行交换, 水分胁迫或较高温度 (30 ~ 35) 常引起气孔关闭<sup>[17]</sup>。因此, 气孔导度 ( $G_s$ ) 会直接影响净光合速率 ( $P_n$ ) 和蒸腾速率 ( $T_r$ )。苹果的净光合速率 ( $P_n$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ ) 均与气孔导度 ( $G_s$ ) 呈正相关的线性关系 (图 4)。两者都随着气孔导度 ( $G_s$ ) 的增大而提高。

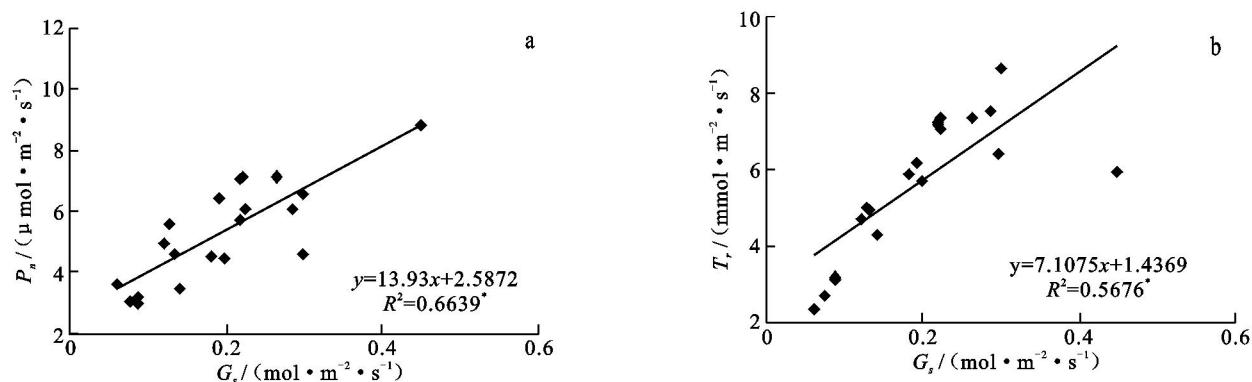
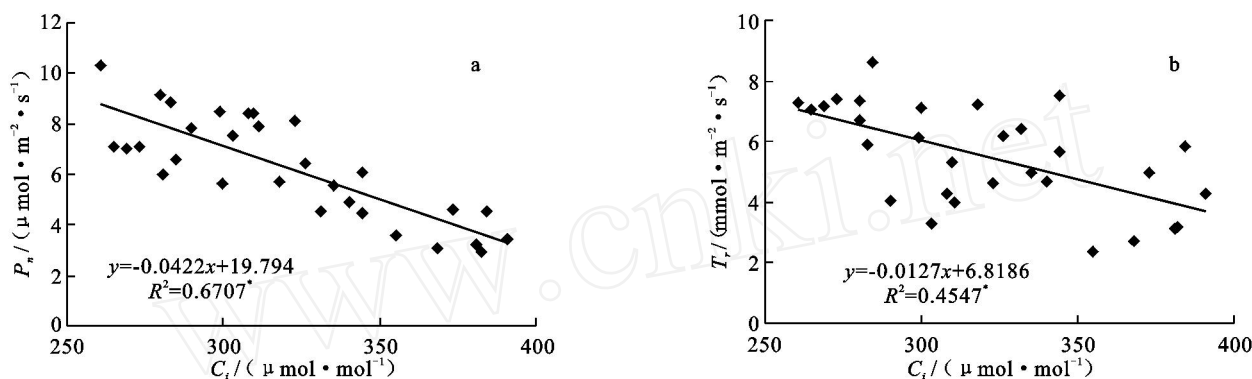


图 4 苹果叶片净光合速率和蒸腾速率与气孔导度的关系

图 5 苹果叶片净光合速率和蒸腾速率与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的关系

2.3.2 净光合速率 ( $P_n$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ ) 与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 ( $C_i$ ) 的关系 叶片净光合速率 ( $P_n$ ) 与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 ( $C_i$ ) 的关系呈负相关 (图 5a)。净光合速率 ( $P_n$ ) 提高时,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 ( $C_i$ ) 减小;反之,当净光合速率 ( $P_n$ ) 降低时,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 ( $C_i$ ) 增大。究其原因,可能是因为光合作用增强,消耗的 CO<sub>2</sub> 就多,胞间 CO<sub>2</sub> 得不到及时补足,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 ( $C_i$ ) 就会下降;反之,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 ( $C_i$ ) 就会增加。另一方面,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 ( $C_i$ ) 增加引起细胞中 pH 的改变,使一些酶活性降低,进而降低净光合速率<sup>[15]</sup>。同样蒸腾速率 ( $T_r$ ) 与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 ( $C_i$ ) 也呈负相关 (图 5b),蒸腾速率 ( $T_r$ ) 随胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 ( $C_i$ ) 的增加而下降。

### 3 结论

本文通过对黄土高原沟壑区果园生态系统的的光合特性进行日观测,并对该地区的净光合速率 ( $P_n$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ ) 与生态因子和生理因子的关系进行研究,得出以下结论。

(1) 清耕和生草处理的净光合速率 ( $P_n$ ) 日变化进程为双峰型,两峰值出现的时间为 10:00 和 14:00,地膜覆盖、秸秆覆盖和砂石覆盖的净光合速率 ( $P_n$ ) 日变化进程为单峰型,峰值出现在 10:00 左右。砂石覆盖和秸秆覆盖的净光合速率最大。

(2) 各地表覆盖模式下,苹果的蒸腾速率 ( $T_r$ ) 日变化进程均为单峰型,但峰值出现的时间不尽一致。生草处理峰值出现的最早,为 10:00,砂石覆盖峰值出现的最迟,为 14:00,与其光合峰值相比滞后明显。

(3) 净光合速率 ( $P_n$ ) 与光合有效辐射 (PAR)、气温 ( $T_a$ )、叶温 ( $T_l$ ) 均呈二次曲线关系;与大气相对湿度 (RH)、气孔导度 ( $G_s$ ) 呈正相关;与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 ( $C_i$ ) 呈负相关。

(4) 蒸腾速率 ( $T_r$ ) 与光合有效辐射 (PAR) 为幂指数关系;与大气相对湿度 (RH) 呈二次曲线关系;与气温 ( $T_a$ )、叶温 ( $T_l$ )、气孔导度 ( $G_s$ ) 呈正相关;与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 ( $C_i$ ) 呈负相关。

### 4 讨论

净光合速率 ( $P_n$ ) 与蒸腾速率 ( $T_r$ ) 是植物两个重要的生理过程,植物处在一定生态条件下,外界环境因子包括光合有效辐射 (PAR)、气温 ( $T_a$ )、叶温 ( $T_l$ ) 及大气相对湿度 (RH) 等是不断变化的,植物为了适应这些变化,内部生理因子包括气孔导度 ( $G_s$ ) 与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 ( $C_i$ ) 会做出相应的变化,并且这些因子之间相互影响。本研究观测到黄土沟壑区长枝红富士苹果叶净光合速率 ( $P_n$ ) 的最适气温 ( $T_a$ )、叶温 ( $T_l$ ) 分别为 18 ~ 23, 20 ~ 25。这与王润元等在

定西研究小麦的净光合速率在 20 ~ 25 时最大的结论基本一致<sup>[18]</sup>。净光合速率( $P_n$ )达到最高时的叶温( $T_l$ )比气温( $T_a$ )高 2 左右,其原因可能是植物体内代谢活动强导致叶温( $T_l$ )比气温( $T_a$ )高。

本文对净光合速率( $P_n$ )与气孔导度( $G_s$ )的研究发现,二者呈线性正相关关系。而谷艳芳等<sup>[15]</sup>和王会肖等<sup>[19]</sup>则认为净光合速率( $P_n$ )与气孔导度( $G_s$ )呈二次曲线关系,这可能与研究区域的环境条件及植物类型不同有关。

蒸腾速率( $T_r$ )与各环境因子和生理因子的关系研究发现,蒸腾速率( $T_r$ )与光合有效辐射(PAR)及气孔导度( $G_s$ )相关性很强,因此影响气孔开闭的环境因子如光合有效辐射(PAR)、大气相对湿度(RH)等是影响蒸腾速率( $T_r$ )的重要因子。蒸腾速率( $T_r$ )随光合有效辐射(PAR)的增加呈幂函数曲线上升;大气相对湿度(RH)在 60% ~ 75%时,是蒸腾速率( $T_r$ )的最适大气相对湿度(RH)值(图 3d<sub>2</sub>),这可能与光合有效辐射(PAR)、气温( $T_a$ )、叶温( $T_l$ )的影响有关。黄土沟壑区 4、5 月份光照充足,少雨干旱,导致气孔关闭,气孔导度下降,同化 CO<sub>2</sub> 量减少,影响光合产物的产生。在初步得出黄土沟壑区苹果树净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )与各环境因子和生理因子的关系后,如何创造出适宜的果树生理外界环境条件和环境适应性机制等还有待进一步研究。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 白志礼,穆养民,赵政阳. 陕西苹果产业发展的新思考与新探索[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(4): 172-175.
- [2] 李会科,郑秋玲,赵政阳,等. 黄土高原果园种植牧草根系特征的研究[J]. 草业学报, 2008, 17(2): 92-96.
- [3] 魏钦平,张继祥,毛志泉,等. 苹果优质生产的最适气象因子和气候区划[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5): 713-716.
- [4] 李会科,张广军,赵政阳,等. 渭北黄土高原旱地果园生草对土壤物理性质的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(7): 2070-2076.
- [5] Wu Faqi, Liu Haibin, Sun Baosheng, et al. Net primary production and nutrient cycling in an apple orchard-annual crop system in the loess plateau, China: A comparison of Qinguan apple, Fuji apple, corn and millet production subsystems [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2008, 81: 95-105.
- [6] 吴发启,周正立,刘海斌. 黄土高原中南部农果复合型生态农业生产力特征[J]. 应用生态学报, 2005, 16(2): 262-266.
- [7] Hadrian F C, Gerardo S B V, Howard C L. Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under Zea mays L [J]. Soil and Tillage Research, 2006, 91(1/2): 227-235.
- [8] Stigter C J. Mulching as a traditional method of microclimate management [J]. Archives for Meteorology Geophysics and Bioclimatology Series B, 1984, 35: 147-154.
- [9] 张亚丽,李怀恩,张兴昌,等. 牧草覆盖对坡面土壤矿质氮素流失的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2297-2301.
- [10] 刘久俊,方升佐,谢宝东,等. 生物覆盖对杨树人工林根际土壤微生物、酶活性及林木生长的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(6): 1204-1210.
- [11] 王中英,杨佩芳,古润泽,等. 秸秆覆盖对黄土高原旱地苹果园的影响[J]. 中国农业科学, 1992, 25(5): 42-49.
- [12] 王强,陈存根,钱红格,等. 水分胁迫对 6 种苗木光合生理特性的影响[J]. 水土保持通报, 2009, 29(2): 144-149.
- [13] 束怀瑞. 果树栽培生理学[M]. 北京: 农业出版社, 1993: 6-8.
- [14] 许大全. 光合作用“午睡”现象的生态生理与生化[J]. 植物生理学通讯, 1990, 14(6): 5-10.
- [15] 谷艳芳,高志英,邢倩,等. 黄淮海平原冬小麦(*Triticum aestivum*)旗叶的生理生态特性[J]. 生态学报, 2007, 27(8): 3465-3471.
- [16] 周凌云,李卫民. 黄淮海中部平原水资源失衡问题与对策[J]. 土壤通报, 2002, 33(4): 253-255.
- [17] 戚龙海,党廷辉,陈璐. 黄土旱塬冬小麦水分利用效率及相关生理特性研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(6): 113-116.
- [18] 王润元,杨兴国,赵鸿,等. 半干旱雨养区小麦叶片光合生理生态特征及其对环境的响应[J]. 生态学杂志, 2006, 25(10): 1161-1166.
- [19] 王会肖,刘昌明. 作物光合、蒸腾与水分高效利用的试验研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(10): 1632-1636.